






# Method for localization of beacons for an autonomous device

**Patent number:** DE19520532  
**Publication date:** 1996-01-25  
**Inventor:** EDLUND LEIF (SE); BERLIN ROLF (SE); DAVIDSSON CHARLES R (SE)  
**Applicant:** ELECTROLUX AB (SE)  
**Classification:**  
- **International:** G05D1/02; G01S1/00; G01S3/00; G05B13/00; B25J9/18; A47L9/28; B60S1/48  
- **European:** A47L11/40; G01S11/16; G01S13/87D  
**Application number:** DE19951020532 19950603  
**Priority number(s):** SE19940001943 19940606

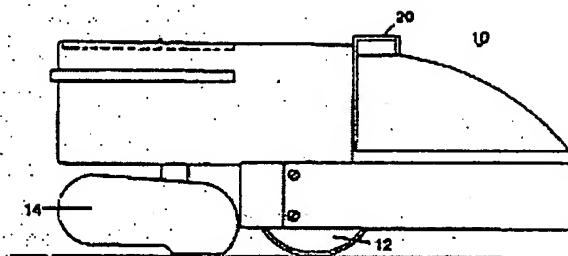
Also published as:

	US5682313 (A1)
	GB2290143 (A)
	FR2720838 (A1)
	SE9401943 (L)
	SE514791 (C2)

Report a data error here

## Abstract of DE19520532

A method for determining a coarse direction in an orientation system of an autonomous device 10, for instance a dust cleaning robot operating together with a system of active beacons 31 - 34. A transmitter 20 for transmitting sensing signals is displaced in relation to the rotational center 25 of the device 10. When the device is rotated around a vertical rotational axis in the rotational center, a minimum in the distance to the respective beacon is obtained when the transmitter of the device is positioned immediate to a point lying on a straight line between the rotational center of the device and a respective transponder, whereby an immediate coarse determination of the direction to each beacon is directly obtained. From such an immediate direction determination direct starting values are obtained for a position calculation by, for example, Kalman filtering. The transmitter 20 emits an ultrasound signal and the beacons 31 - 34 reply with electromagnetic signals.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 195 20 532 C 2

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 05 D 1/02  
G 01 S 1/00  
G 01 S 11/16  
G 05 B 13/00  
B 25 J 9/18

21 Aktenzeichen: 195 20 532.4-32  
22 Anmeldetag: 3. 6. 95  
43 Offenlegungstag: 25. 1. 96  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 7. 5. 98

DE 195 20 532 C 2

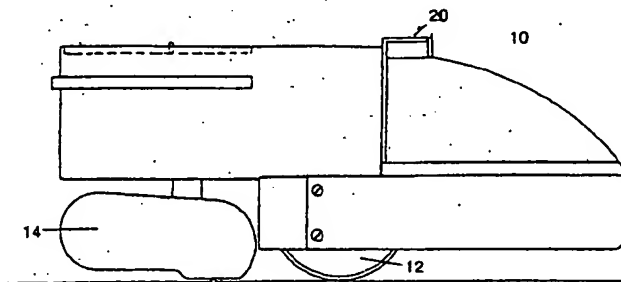
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Unionspriorität:  
9401943 06. 06. 94 SE  
73 Patentinhaber:  
Aktiebolaget Electrolux, Stockholm, SE  
74 Vertreter:  
Rehberg und Kollegen, 37085 Göttingen

72 Erfinder:  
Edlund, Leif, Uppsala, SE; Berlin, Rolf, Göteborg,  
SE; Davidsson, Charles R., Askim, SE  
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 37 41 259 A1  
DE 27 41 688 A1  
CH 6 19 799 A5  
GB 14 03 860  
US 48 87 415  
US 47 00 424  
US 46 74 048  
US 41 14 711  
EP 04 58 105 A2  
SE 3 64 574  
SE 3 13 409  
US-B.: Position Estimation for an Intelligent  
Mobile Robot, 1984, Carnegie-Mellon University,  
The Robotics Institute;

54 Verfahren zum schnellen Messen der Richtung von einer autonomen Vorrichtung zu einem Transponder sowie selbstfahrende autonome Vorrichtung ###

57 Verfahren zum schnellen Messen der Richtung von einer autonomen Vorrichtung (10) zu einem Transponder, bei dem von einem auf der Vorrichtung (10) exzentrisch zu einer Rotationsachse (25) angeordneten Sender (20) ein Abtastsignal ausgesandt wird, durch welches auf dem Transponder ein Antwortsignal ausgelöst wird, das von einem auf der Vorrichtung (10) angeordneten Empfänger empfangen wird, wobei die Laufzeit des Abtastsignals ermittelt wird. Die Vorrichtung (10) wird um die Rotationsachse (25) gedreht, wobei der Drehwinkel relativ zur Ausgangsstellung der Vorrichtung (10) erfaßt wird. Die Ermittlung der Laufzeit und des Drehwinkels wird mehrfach wiederholt und das Entfernungsminimum mit dem zugehörigen Drehwinkel festgestellt, der die Richtung zum Transponder angibt.



DE 195 20 532 C 2

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum schnellen Messen der Richtung von einer autonomen Vorrichtung zu einem Transponder, eine selbstfahrende autonome Vorrichtung sowie ein Verfahren zum Orientieren einer autonomen Vorrichtung mit Hilfe einer Anzahl von Transpondern.

Seit mehreren Jahren besteht die Forderung z. B. nach einer selbst fahrenden Vorrichtung für die Fußbodenpflege, insbesondere nach einem Staubsauger, der über ein Fühlersystem gesteuert wird und sich analog in einer horizontalen Ebene bewegt, beispielsweise gesteuert über ein Schiffsradar. Dabei tritt die Forderung auf, daß die Vorrichtung in der Lage sein sollte, sich selbst im Raum zu orientieren, so daß sie beispielsweise in der Lage ist, eine Säuberungsfunktion zu erfüllen, und zwar entsprechend einem vorher festgelegten Muster oder einer vorgegebenen Strategie. Dabei muß sie aber gleichzeitig in der Lage sein, eine Kollision mit verschiedenen Hindernissen, die sich im Raum befinden, zu vermeiden. Daneben müssen Kollisionen mit der Wandung des Raumes vermieden werden.

Aus "Position Estimation for an Intelligent Mobile Robot", 14. Febr. 1984, James L. Crowley, The Laboratory for Household Robotics, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, ist ein Verfahren zum genauen Bestimmen der Position und der Orientierung einer selbst fahrenden autonomen Vorrichtung bekannt. Dabei wird die Umgebung der Vorrichtung ermittelt und die empfangenen Signale mit einem dynamisch aufgebauten Modell verglichen. Es wird eine Lösung für die Bestimmung der Position der selbstfahrenden autonomen Vorrichtung für den Fall aufgezeigt, daß sich die Vorrichtung in einem bekannten Raum bewegt, in dem sie bereits vorher tätig geworden ist. Eine weitere Lösung beschreibt den Fall der Bestimmung der Position der selbstfahrenden autonomen Vorrichtung in einem unbekannten Raum. Es werden zusätzlich einige weitere Hinweise auf verschiedene Algorithmen gegeben, die in diesem Zusammenhang modellmäßig benutzt werden können und die auch zur Programmierung eines Computers zum Führen einer solchen autonomen Vorrichtung benutzt werden können. Es werden Codiereinrichtungen an den Rädern der Vorrichtung benutzt, um den Weg zu bestimmen. Andererseits ist ein rotierender Sensor vorgesehen, der die Entfernung zu den Raum begrenzenden Oberflächen bestimmt, indem er einen Strahl aussendet, der einen Anfangsdurchmesser von ungefähr 7,5 cm und eine Strahlaufweitung von ungefähr 3° aufweist. Der Sensor führt eine volle Umdrehung in 5 Sekunden aus und erkennt die Entfernung zu der nächsten Oberfläche innerhalb von 6 m mit einer Genauigkeit von 3 cm. Die Vorrichtung kann dann in eine Lernphase während ihrer geführten Bewegung gebracht werden, wobei man davon ausgeht, daß diese arbeitet. Wenn man mit der Lernphase beginnt, wird sich die Vorrichtung ausgehend von dem Anfangspunkt von selbst in der nunmehr erkundeten Umgebung orientieren.

Die Patentschrift SE 313,409 aus dem Jahre 1969 beschreibt eine autonome Vorrichtung für die Bodenpflege, die mit einem Paar Räder ausgestattet ist, die von einem Elektromotor angetrieben werden. Diese Vorrichtung kennzeichnet sich dadurch, daß eines der Räder automatisch gegen die Kraft einer Feder ausweichen kann, wenn die Vorrichtung auf ein Hindernis stößt, wodurch das Paar der Räder um eine vertikale Achse geschwenkt wird, so daß sich die Bewegungsrichtung der Vorrichtung ändert. Zusätzlich kann die Drehrichtung der Räder umgekehrt werden, so daß die Vorrichtung prinzipiell geeignet ist, sich weiterzubewegen und dem Hindernis auszuweichen. Zusätzlich wird die Vorrichtung von einem Regler geführt, der prinzipiell den Weg der Vorrichtung über die zu reinigende Oberfläche bestimmt.

Auch aus der Patentschrift SE 364,574 ist eine Vorrichtung bekannt, die auf ihrer Vorderseite mit einer Einrichtung zum Erkennen eines Hindernisses versehen ist. Die Einrichtung weist Sensoren auf, die elektrische Signalen abgeben und mit denen die Entfernung zu den Hindernissen während der Bewegung der Vorrichtung festgestellt werden kann. Diese Fühler arbeiten mechanisch und bestehen vorzugsweise aus Mikroschaltern.

In der GB 1,403,860 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung für eine automatische Pflege beschrieben, beispielsweise zur Reinigung einer eingegrenzten Fläche, wobei sich die Vorrichtung über die gesamte Fläche bewegt und ihre Richtung immer im Bereich der Begrenzungen der Fläche ändert. Die Vorrichtung ist jedoch nicht in der Lage, zuvor andere Hindernisse, die sich in der begrenzten Fläche befinden, festzustellen. Sie folgt generell einem vorher festgelegten Programm, um die gesamte Oberfläche der begrenzten Fläche zu bestreichen. Ein weiteres derartiges System ist weiterhin in der CH 619,799 A5 beschrieben. Diese Vorrichtung, die über zwei Räder angetrieben wird, ist mit einer elektro-optischen Meßeinrichtung ausgestattet, die verschiedene Strahlen aussendet und empfängt. Die Meßeinrichtung dient dazu, die Entfernungen zwischen der Vorrichtung und Meßpunkten zu bestimmen, die sich an den Wänden befinden, die den Raum begrenzen. Die Meßpunkte werden in einen Koordinaten-Rechen-Prozessor gegeben, der die Koordinaten der Meßpunkte rechnet und in Beziehung zueinander setzt. Die Vorrichtung speichert auch die gerechneten Werte in einem Orientierungsspeicher. Vermittels eines mit den Rädern verbundenen Wegzählers wird die Bewegung der Vorrichtung zusätzlich gerechnet und die Vorrichtung über diese Information so geleitet, daß sie systematisch über die gesamte Oberfläche des Bodens zum Zwecke der Reinigung der Oberfläche läuft.

Ein Nachteil dabei besteht in der Schwierigkeit, Hindernisse festzustellen, die im Verlauf des Weges der Vorrichtung über den Boden auftreten können. Die Anordnung eines elektro-optischen Erfassungssystems erfordert wegen der hohen Fortpflanzungsgeschwindigkeit ein Meßsystem, welches geeignet ist, sehr kurze Zeiträume zu messen. Deswegen wird ein solches System in erster Linie, auch wenn man die kürzlichen Entwicklungen betrachtet, die in der Elektronik und in der Computertechnik erzielt wurden, so teuer sein, daß es sich verbietet, schon allein aus Preisgründen, dieses für normale Benutzer erschwinglich zu machen. Weiterhin ist es immer noch aus technischen Gründen schwierig, mit einem solchen elektro-optischen Verfahren kurze Entfernungen mit hinreichender Genauigkeit zu messen.

In der US 4,674,048 ist ein Führungssystem für eine autonome Vorrichtung beschrieben, die ihre momentane Position errechnet und in Sequenzen Daten und erreichte Positionen speichert, wobei diese Information dann für die fortgesetzte Bewegung der Vorrichtung genutzt wird. Die Vorrichtung errechnet dann ein Bewegungsmuster innerhalb einer speziellen Fläche, wobei sie sich in dem betreffenden Bereich bewegt, ohne ein Stück auszulassen oder Notiz von einem möglichen Hindernis zu nehmen, welches seinen Lauf verändern könnte. Die Vorrichtung kompensiert Positionsfehler hervorgerufen durch Gleitbewegungen seiner Antriebsräder oder auch Fehler, die von der Tätigkeit der Motoren herrühren.

Es gibt viele weitere Dokumente, beispielsweise die US 4,114,711, US 4,700,424 oder US 4,887,415, die alle verschiedene Anordnungen zum automatischen Führen von selbstfahrenden autonomen Vorrichtungen betreffen.

Gemeinsam ist all diesen vorangehend erwähnten Konstruktionen, daß sie, hervorgerufen durch die Vielzahl der verschiedenen miteinander kombinierten Verfahren für ihre Orientierung und ihre Steuerung, sehr oft relativ groß bauen und vor allen Dingen sehr kompliziert und teuer herzustellen sind. Es entsteht deshalb die Forderung nach einem Verfahren zum schnellen Messen der Richtung von einer autonomen Vorrichtung zu einem Transponder, wobei die Vorrichtung zu vertretbaren Kosten herstellbar sein soll, so daß ein fertiges Produkt, z. B. ein autonom arbeitender Staubsauger für einen Raum, zu einem Gesamtpreis entsteht, der auch für normale Nutzer akzeptabel ist. 5

Nach der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum schnellen Messen der Richtung von einer autonomen Vorrichtung zu einem Transponder aufgezeigt, bei dem von einem auf der Vorrichtung exzentrisch zu einer Rotationsachse angeordneten Sender ein Abtastsignal ausgesandt wird, durch welches auf dem Transponder ein Antwortsignal ausgelöst wird, das von einem auf der Vorrichtung angeordneten Empfänger empfangen wird, wobei die Laufzeit des Abtastsignals ermittelt wird. Die Vorrichtung wird um die Rotationsachse gedreht, wobei der Drehwinkel relativ zur Ausgangsstellung der Vorrichtung erfaßt wird. Die Ermittlung der Laufzeit und des Drehwinkels wird mehrfach wiederholt und das Entfernungsminimum mit dem zugehörigen Drehwinkel festgestellt, der die Richtung zum Transponder angibt. 10

Beim Messen der Richtung und der Entfernung zu einem Transponder werden Signale mit zwei verschiedenen Frequenzen benutzt werden, von denen die eine eine relativ langsame und die andere eine relativ hohe Ausbreitungsgeschwindigkeit aufweist, wobei eine erste Frequenz durch eine akustische Welle und eine zweite Frequenz durch eine elektromagnetische Welle gebildet wird. 15

Die erste Frequenz kann von einer Ultraschallwelle und die zweite Frequenz von einem Infrarot-Lichtsignal oder einem Radiosignal gebildet werden.

Die erste Frequenz mit der langsamen Ausbreitungsgeschwindigkeit wird von dem Sender der Vorrichtung in alle Richtungen ausgesendet. 20

Es ist also der Sender der Vorrichtung, der die Signale für die Ortsbestimmung der Transponder aussendet, außerhalb der Rotationsachse der Vorrichtung angeordnet, um den die Vorrichtung drehen kann, wenn die Vorrichtung eine Anschlußstation verläßt. Dabei wird die Vorrichtung mindestens um eine Umdrehung um ihre Rotationsachse gedreht, während gleichzeitig ihr Mikroprozessor-System die Entfernungen zu allen erreichbaren Transpondern oder Leitsendern, von denen eine Antwort erscheint, registriert. 25

Das Mikroprozessor-System der Vorrichtung registriert für jedes übermittelte Sensorsignal den Drehwinkel relativ zu einer Ausgangsstellung der Vorrichtung vor der Drehung, wobei während der Verarbeitung dieser Signale ein Entfernungsminimum zu jedem Transponder festgestellt wird, wenn der Sender der Vorrichtung sich in einer Position befindet, die unmittelbar auf einer geraden Linie zwischen der Rotationsachse der Vorrichtung und dem betreffenden Transponder liegt. Somit wird damit unmittelbar die Richtung zu jedem erreichbaren Transponder in einem relativen Koordinatensystem festgestellt, welches seinen Bezugspunkt in dem Ausgangspunkt der Vorrichtung, z. B. in der Anschlußposition, hat. 30

Es wird auch eine selbstfahrende autonome Vorrichtung mit einem motorischen Antrieb zum Drehen der Vorrichtung um eine Rotationsachse aufgezeigt, die einen Empfänger und einen exzentrisch zu der Rotationsachse angeordneten Sender sowie ein mikroprozessorgestütztes Orientierungssystem für die Bestimmung der Entfernungen und der Richtungen zu einer Anzahl von Transpondern aufweist. 35

Einer der zusätzlichen Transponder ist dabei an derselben Wand angeordnet, an der sich auch die Anschlußstation des ersten, bekannten Transponders befindet.

Schließlich wird ein Verfahren zum Orientieren einer autonomen Vorrichtung mit Hilfe einer Anzahl von Transpondern aufgezeigt, wobei die Vorrichtung beim Verlassen einer Anschlußstation mit einem ersten Transponder mindestens um eine Umdrehung um ihre Rotationsachse gedreht wird und dabei die Entfernungen und die Richtungen zu allen erreichbaren Transpondern nach dem Verfahren des Anspruches 1 gemessen werden. 40

Dabei sollte die Drehung der Vorrichtung um ihre Rotationsachse mindestens einmal wiederholt werden, wenn sich die Vorrichtung um eine festgelegte Distanz von ihrem Ausgangspunkt entfernt hat, um zusätzliche Richtungsmessungen für eine Lauffestlegung der Positionen der Transponder zu erhalten. 45

Eine Antwort des Transponders mit der schnellen Ausbreitungsgeschwindigkeit wird um einen vorher festgelegten Zeitabschnitt verzögert, um der autonomen Vorrichtung Zeit zu geben, die Reflektion auf das Signal mit der ersten Frequenz zum Erkennen der kürzesten Entfernung zu der Vorrichtung zu verarbeiten.

Jeder Transponder wird von dem Mikroprozessor anhand des Inhalts der Antwort identifiziert, wobei die Identität des Transponders festgelegt ist. 50

Von jedem Transponder wird nach der Aussendung einer ersten Antwort, die einen Empfang eines Signals auf die erste Frequenz anzeigt, ein zusätzliches Signal nach Ablauf eines festgelegten Zeitintervalls, welches verschieden und einzigartig für jeden Transponder ist, ausgesandt, um damit die Transponder zu unterscheiden, wobei die erste Antwort gleichzeitig von dem Empfänger der autonomen Vorrichtung empfangen wird. 55

Die Erfindung wird anhand einer bevorzugten Ausführungsform und unter Hinweis auf die anliegenden Zeichnungen beschrieben, in denen:

Fig. 1 eine Seitenansicht einer Ausführungsform einer autonomen Vorrichtung, z. B. eines Staubsaugerroboters, nach der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 2 eine Draufsicht auf den Staubsaugerroboter nach Fig. 1 zeigt;

Fig. 3 einen Vertikalschnitt durch den Staubsaugerroboter nach Fig. 1 zeigt;

Fig. 4 einen Raum darstellt, der mit einer Anzahl aktiver Leitsender oder Transponder ausgestattet ist und bei dem der Staubsaugerroboter nach Fig. 1 sich zunächst so orientieren wird, daß er den Raum entlang der Wände umrundet;

Fig. 5 den Weg des Staubsaugerroboters nach Fig. 1 in grundsätzlicher Weise zeigt, in der die Säuberung nach der Raumerkennung abläuft;

Fig. 6 ein generelles Basisbild der Einschätzung der Position eines Transponders durch eingebaute Sensorfunktionen zeigt;

Fig. 7 die Einschätzung der Position eines Transponders nach einem hypothetischen Verfahren einerseits und nach ei-

nem geometrischen Wegverfahren andererseits zeigt; und

Fig. 8 die Orientierung in Richtung auf einen Transponder während der ersten Raumumrundung zeigt.

In Fig. 1 in rechter Seitenansicht und in Fig. 2 in einer Draufsicht ist ein verdeutlichendes Ausführungsbeispiel eines selbstfahrenden Staubsaugers 10 dargestellt, der nach dem Verfahren der vorliegenden Erfindung arbeitet. Der Staubsauger 10 weist generell ein rundes Gehäuse 11 auf, welches mit zwei angetriebenen Rädern 12 und 13 versehen ist. Auf dem Gehäuse 11 befindet sich eine Steuerplatte 15 mit Steuerungen und Anzeigen für die Vorrichtung nach dem Stand der Technik, wie auch ein Luftauslaß der Staubsaugereinheit 14 der Vorrichtung. Fig. 3 ist eine vereinfachte Zeichnung und verdeutlicht einen Schnitt durch den Staubsauger 10, so daß deutlich wird, daß das Gehäuse prinzipiell drei Räume aufweist, nämlich einen hinteren Raum 17 zur Aufnahme des Staubes oberhalb der Staubsaugereinheit 14, einen mittleren Raum 18 für schwerere Komponenten wie eine aufladbare Batterie und Antriebsmotore, und einen vorderen Raum 19 für die verbleibende Ausrüstung, beispielsweise einen Mikroprozessor und damit verbundene gedruckte Schaltungen sowie Elektronik für den Sender und den Empfänger für die Orientierung und für die Führung des Staubsaugers während der Arbeit. Zusätzlich bildet ein Frontbereich des Gehäuses 11 im vorderen Raum 19 einen mechanischen Sensor für die x- und y-Richtungen und auch zum mechanischen Erkennen eines Hindernisses, wenn beispielsweise der Staubsauger 10 unter ein Sofa o. dgl. mit ungenügender Höhe fährt. Oben auf dem beweglichen Teil des Gehäuses 11 ist ein Rundstrahl-Ultraschallsender 20 angeordnet, der in Verbindung mit einer Anzahl Ultraschall-Mikrofonen zur Ortung von Hindernissen in einem Nahbereich vor dem Staubsauger dient. In einem verdeutlichenden Ausführungsbeispiel ist der Ultraschallsender ein Zylinder mit einem Durchmesser von etwa 15 mm, der das Gehäuse 11 etwa um 20 mm überragt und oben mit einer schallabsorbierenden Platte versehen ist, auf der dann zusätzlich ein Infrarotempfänger angeordnet ist. Auf diese Weise bildet bei diesem Ausführungsbeispiel das Gehäuse 11, der Ultraschallsender 20 und die mechanische Einrichtung 21 eine integrierte Einheit, die auch zum mechanischen Erkennen dient.

In den Fig. 4 und 5 ist in genereller Weise ein Weg des Staubsaugers angedeutet, in der die automatische Säuberung eines Raumes durchgeführt wird. In diesem Raum befindet sich beispielsweise ein Sofa 30, und der Raum ist weiterhin mit vier Transpondern 31 bis 34 für die Orientierung des Staubsaugers ausgestattet. Bei diesem Ausführungsbeispiel befinden sich alle Transponder innerhalb der zu reinigenden Fläche, aber es ist natürlich auch möglich, daß sich ein Transponder auch außerhalb der zu reinigenden Fläche befinden könnte. Wenn ein Staubsauger eine automatische Reinigung eines Raumes vornimmt, beginnt er in üblicher Weise mit einer ersten vollen Umrundung des Raums entlang der Wand, die den Raum begrenzen, indem er von dem Transponder 31 oder "Leitsender 0" startet. Während dieser Umrundung entlang der Wand wird die Wand über die Ultraschalleinrichtung registriert, wobei die Wand immer auf der linken Seite der Vorrichtung bleibt, wenn die Vorrichtung eine Runde rechts herum mit gleichzeitiger Reinigung macht. Zusätzlich werden die Transponder 31 bis 34 mit einem System registriert, in welchem die Transponder aktiv sind und mit einer anderen Frequenz antworten, wenn sie einen gesendeten Ultraschallimpuls von der Vorrichtung registrieren. In dem verdeutlichenden Beispiel wird ein solcher Schallimpuls jede 100 ms gesendet, und zwar über die Zeit, in der sich die Vorrichtung gleichförmig bewegt. Durch die Antworten von den Transpondern und die erste Bewegung entlang der Wand kann der Mikroprozessor eine Art Bild von dem Raum aufbauen, wobei die genauen Positionen der Transponder fortschreitend besser und besser festgestellt werden, je länger die Vorrichtung diese erste Orientierungsrunde durchläuft. Gleichzeitig wird dabei auch eine erste Reinigungsfunktion entlang des festgestellten Weges durchgeführt. Während dieser ersten Runde wird auch das Sofa 30 in dem Beispiel durch die Ultraschallvorrichtung registriert. Es erhält seinen Platz in der "Karte", die von dem Raum angefertigt wird. Diese Karte in Form eines festgelegten Netzwerkes von Flächenteilen wird in der Folge immer mehr mit Daten angefüllt, solange die Säuberungsaktion in dem Raum andauert. Der Ultraschallsender ist auf einem Bereich des Gehäuses 11 angeordnet, und zwar so, daß seine Position sich von der Rotationsachse 25 der Vorrichtung unterscheidet. Unmittelbar nachdem die Vorrichtung die Startposition an dem Transponder 31 (Leitsender 0) in Fig. 4 verlassen hat und der Startvorgang für die Runde entlang der Wand erfolgt ist, wird die Vorrichtung 10 einmal um ihre Rotationsachse gedreht, wobei gleichzeitig die Entfernungen zu allen erreichbaren Transpondern oder Leitsendern ermittelt werden. Unter Anwendung dieses Verfahrens wird ein Minimum in der Entfernung zu jedem erreichbaren Transponder erzielt, wenn der Sender 20 sich in einer solchen Lage befindet, daß eine gerade Linie zwischen der Rotationsachse 25 der Vorrichtung und dem betreffenden Transponder besteht. Auf diese Weise erhält man Lauffestlegungen der Richtungen (in der Größenordnung  $\pm 5^\circ$ ) zu jedem Transponder, so daß die Berechnung der Positionen der verschiedenen Transponder vereinfacht wird. In einer späteren Position kann die Umdrehung um die Rotationsachse wiederholt werden, um wiederum die Richtungen zu den verschiedenen Transpondern in der Anwendung dieses Verfahrens zu ermitteln und darüberhinaus die Richtungen zu solchen Transpondern festzustellen, die vorher verborgen waren.

Nachdem eine Umrundung des Raumes abgeschlossen ist, ist der Staubsauger bereit, von selbst die automatische Reinigung der verbleibenden Fläche des Raumes durchzuführen, wie dies in Fig. 5 verdeutlicht ist. Der Mikroprozessor errechnet ein Bewegungsmuster, so daß die gesamte Oberfläche von der Vorrichtung überstrichen wird und gleichzeitig eine geeignete geringe Überlappung erzielt wird. Die Vorrichtung wird dabei das "Kartenbild" benutzen und den Weg der Vorrichtung bestätigen, indem die Positionen der Transponder und der zurückgelegte Weg über die Räder neben von dem Ultraschallradar erhaltenen Informationen registriert bzw. berücksichtigt werden. Durch separate Antriebsmotore für die Räder 12 und 13 und ihre entgegengesetzte Anordnung kann die Vorrichtung – wenn immer es nötig ist – in sehr einfacher Weise um ihre Rotationsachse 25 gedreht werden, das dann der Beginn einer Kreisbewegung ist und die Begrenzungslinie des Gehäuses 11 berücksichtigt. Durch die Registrierung der Rotation der Räder während dieser Drehbewegung um die Rotationsachse der Vorrichtung können gleichzeitig Informationen betreffend den Drehwinkel relativ zur Startposition, in der die Drehung der Vorrichtung ausgelöst worden ist, erzielt werden. Diese Winkelinformation wird durch ein Unterprogramm des Mikroprozessorsystems erhalten, welches auf ein Minimum in der Entfernungsvariation zu jedem Leitsender während der Rotation gerichtet ist. Die Antriebsmotore sind in einer bevorzugten Ausführungsform beispielsweise Schrittmotore mit der Bezeichnung KH56HM2-501 der Firma Japan Servo Co LTD.

Gleichzeitig mit der Bewegung der Vorrichtung erfaßt das Ultraschallsystem eine benachbarte Fläche innerhalb eines Bereiches von 0 bis 40 cm, um mögliche Hindernisse zu erkennen. Wenn die Vorrichtung ein solches Hindernis registriert hat, kehrt sie zunächst um und reinigt weiterhin die zugänglichen Oberflächen. Nachdem diese Reinigung um die

Hindernisse herum beendet ist, führt sie eine volle Umrundung um das Hindernis aus, wenn dies möglich ist, bevor sie sich zu dem nächsten Hindernis begibt. Nachdem die Reinigung vollendet wurde, kehrt der Roboter zu Ladezwecken in die Ausgangsposition zurück.

Unter Anwendung dieses generell beschriebenen Systems erhält man einen Staubsauger oder "Staubreinigungsroboter", der selbsttätig von einer Startposition von einem Punkt in einem Raum automatisch die Säuberung des Raumes durchführt, nachdem er ein Steuersignal erhalten hat. Bei dem verdeutlichenden Ausführungsbeispiel bildet der "Leitsender 0" einen Ankoppelpunkt für die Vorrichtung, wo sie sich normalerweise im Freilauf befindet und dann ihre eingebaute Batterie aufladen kann oder von dem aus auch eine zusätzliche Aufladung erfolgen kann, wenn die Vorrichtung durch einen vorangegangenen Ladevorgang der Batterie nicht imstande ist, den Reinigungszyklus für den gesamten Raum zu vollenden. Die Transponder 31 bis 34 sind in diesem Falle von einem aktiven Typ, der über eine eigene Antriebsversorgung verfügt, sei es in Form einer Batterie oder sei es durch Verbindung mit erreichbaren Antriebsanschlüssen, der in dem beschriebenen Ausführungsbeispiel den Anschluß an dem Transpondern 31 ermöglicht, um Strom für die Batterie aufzunehmen. In den Fig. 4, 5, 6 und 8 ist der Transponder 34 selbsttragend und mit einer Batterie versehen, während die Transponder 32 und 33 ebenso wie der Anschlußtransponder 31 mit entsprechenden Antriebsauslässen verbunden sind. Diese Transponder 32 und 33 erinnern in ihrem Erscheinungsbild an kleine Lämpchen, wie sie manchmal in Stromauslässe von Lichtleiteinrichtungen eingesetzt sind. Die Transponder können generell frei plziert werden, was ihre Höhe über dem Boden anbetrifft. Lediglich der Start- und Anschlußtransponder 31 muß im Bereich des Bodens angeordnet werden. In bevorzugter Ausführungsform wird die Anordnungshöhe eines Transponders z. B. auf 1 m Höhe über dem Boden beschränkt, um das Aussenden des Ultraschallsenders nach oben zu reduzieren und auf diese Weise die Anzahl der ungewollten Reflektionen von oben einzuschränken, die als allgemeines Umgebungsrauschen auftreten. Auch Tische und Stühle können die Ultraschallwellen nach aufwärts reflektieren, was die Möglichkeit mit einschließt, daß ein Transponder den Roboter nicht "hören" kann.

Vorliegend bei dem Ausführungsbeispiel wurde ein Staubsauger beschrieben; die Erfindung ist jedoch auf alle Arten von selbstfahrenden Robotern anwendbar, so beispielsweise auch auf andere Reinigungsarten, wie z. B. dem Polieren von Böden.

#### Kurze Beschreibung der Orientierungsfunktion

Zur Ausübung der Orientierungsfunktion wird eine Orientierungseinrichtung benutzt, die zusätzlich eine Anzahl von Unterprogrammen des Mikroprozessors der Vorrichtung aufweist, um einerseits den Roboter jede 20 ms zu führen und andererseits zu positionieren. Am Anfang eines Umlaufes entlang der Wand ist die Position aller Transponder unbekannt mit Ausnahme des Transponders 31, d. h. des "Leitsenders 0", der als Startpunkt für die Orientierung benutzt wird und damit auch den Bezugspunkt in seinem eigenen Koordinatensystem darstellt. Dies kann bis zu gewissem Grade dadurch verbessert werden, daß immer sichergestellt ist, daß ein zusätzlicher Transponder entlang der gleichen Wand mit dem Startpunkt vorgesehen ist. In Fig. 6 ist eine Startposition dargestellt, in der ein Schallimpuls des "Leitsenders 3", d. h. des Transponders 34, registriert wird. Die Zeit, die ein Ultraschallimpuls von dem Ultraschallsender 20 des Staubsaugers 10 zu dem Transponder 34 braucht, gibt ein Maß für die Entfernung bis zu diesem Transponder ab. Der Transponder seinerseits bestätigt, daß er von dem Ultraschallsender erfaßt worden ist, indem er mit einer anderen Frequenz antwortet, z. B. mit einem Lichtimpuls oder einem Radiowellenimpuls, gerichtet auf einen Empfänger auf dem Staubsauger. Die Laufzeit dieser elektromagnetischen Welle zurück kann als vergleichsweise unbedeutend angesehen werden und von der Laufzeit des Impulses abgeleitet werden; mit dem dieser gesendet worden ist, bis er von dem Transponder erkannt wurde, so daß damit die Entfernung  $d_1$  zu dem Transponder feststeht. Es ist dann naheliegend, daß der Transponder auf einem Kreis liegt, dessen Mittelpunkt im Sender 20 liegt und der einen Radius  $d_1$  besitzt. Durch die Durchführung der vorher erwähnten Drehung um die Rotationsachse der Vorrichtung erhält man neben dem Abstand auch eine Laufrichtung durch diese Rotation.

Die ermittelten Werte müssen jedoch immer als unsichere Werte behandelt werden, was voraussetzt, daß diese Werte in geeigneter Weise weiterverarbeitet werden müssen, beispielsweise durch eine Filtermethode oder durch eine Berechnung nach der Wahrscheinlichkeit. So besteht ein Weg, den Transponder relativ zu dem Roboter zu positionieren, beispielsweise darin, eine Hypothesemethode, wie sie in Fig. 7 dargestellt ist, anzuwenden. Dies bedeutet, daß jeder Transponder durch eine Anzahl von parallelen Kalman-Filtern, entsprechend Fig. 7 beispielsweise vier Filter, getestet werden muß. (Eine vollständige Beschreibung der Kalman-Gleichungen wird beispielsweise in A. Gelb "Applied Optimal Estimation", MIT Press, 1975 und H. Sorenson "Kalman Filtering: Theory and Application", IEEE Press, 1985 beschrieben.) Natürlich können auch andere Arten von Filtern angewendet werden. Dies bezieht sich gemäß Fig. 7 auf vier unterschiedliche Hypothesen, von denen eine graduell ausgewählt wird. Wenn der Transponderabstand  $d_1$  erreicht ist, wird die Anfangsposition des Transponders zu dem betreffenden Filter übertragen ( $x_{\text{robot}} + d_1$ ,  $y_{\text{robot}}$ ), ( $x_{\text{robot}}$ ,  $y_{\text{robot}} + d_1$ ), ( $x_{\text{robot}}$ ,  $y_{\text{robot}} - d_1$ ) und ( $x_{\text{robot}} - d_1$ ,  $y_{\text{robot}}$ ). Wenn kein Filter konvergiert, werden alle Hypothesen verworfen und das Verfahren wiederholt. Nachdem eine "beste Schätzung" aufgefunden wurde, kann dieser Wert in einem neuen Rechnungssatz genutzt werden, wobei alle gesammelten Werte erneut genutzt werden, jedoch in umgekehrter Reihenfolge. Das dabei erhaltene Resultat ist von höherer Genauigkeit als das zuerst erhaltene Resultat.

Zunächst wird nur die Entfernung zu dem Leitsender ermittelt, während über die Richtung noch nichts bekannt ist. Wenn der Kalman-Filter sehr falsche Werte für die Position des Leitsenders erhält, wird der Filter nicht konvergieren. Durch die Durchführung der Drehung der Vorrichtung, wie sie bereits beschrieben wurde, erhält man eine erste Schätzung der Richtung der Hypothese mit der besten Wahrscheinlichkeit zu konvergieren. Das kann direkt gewählt werden, und gleichzeitig kann der wesentliche Teil der Hypothese weggelassen werden. Damit ist es sehr wahrscheinlich, daß sogar bevor die Vorrichtung die erste Umrundung gemacht hat, nicht mehr als eine Hypothese für jede Leitsenderposition besteht. Die Berechnung der Leitsenderpositionen kann unterbrochen werden, und die Vorrichtung kann die betreffenden Leitsender in den geschätzten Positionen nutzen. (Wenn einer der Leitsender nicht mit hinreichender Genauigkeit bestimmt worden ist, wird die Schätzung der Leitsenderposition natürlich fortgeführt, um eine höhere Genauigkeit zu er-



zielen.)

Ein anderes Verfahren zur Positionsbestimmung der Transponder kann durch geometrische Laufbestimmung verwirklicht werden. Dieses Verfahren ist sowohl in Fig. 7 wie auch in Fig. 8 angedeutet und beruht darauf, daß der Roboter so weit verfahren wurde, daß zwei "Beine"  $s_1$  und  $s_2$  entstanden sind, die zusammen mit den Transponderentfernungen  $d_1$ ,  $d_2$  und  $d_3$  die Basis für eine trigonometrische Berechnung der Transponderposition ergeben. Die Laufbestimmung bildet vorzugsweise einen ersten Wert für den Kalman-Filter. Um eine hinreichende Genauigkeit zu erzielen, erfordert das Verfahren, daß  $s_1$  und  $s_2$  von hinreichender Länge sind und einander in einem gewissen minimalen Winkel schneiden. Dieses Verfahren ist teilweise weitschweifig, weil alle gemessenen Transponderentfernungen zwischen den Positionen 1 und 2 gespeichert werden müssen (sie werden später gefiltert, wenn schließlich der Anfangswert bestimmt worden ist). Gewisse geometrische Bedingungen in Verbindung mit einer unvorteilhaften Möblierung können bewirken, daß der Transponder nur gelegentlich sichtbar ist, was dazu führen kann, daß zwei "Beine" niemals entstehen.

Die Positionierung eines einzigen Transponders 34 ist anhand von Fig. 6 verdeutlicht, wobei eine Folge für jeden ermittelten Transponder durchlaufen werden muß. Die prinzipiellen Elemente einer solchen Folge sind beispielsweise folgende:

- a) Der Roboter bewegt sich von dem Transponder 31 und nimmt eine Entfernung zu dem Transponder 34 ein. Dieses erste Maß  $d_1$  wird als Beispiel 1 erzielt.
- b) Es wird jetzt ein Filterprogramm in dem Mikroprozessor gestartet, in der Figur mit vier Kalman-Filtern (in der praktischen Ausführungsform mit zwölf Filtern). Die anfängliche Position jedes Filters ist gleichmäßig auf einen Kreis mit dem Radius  $d_1$  angeordnet.
- c) Jedes neue Beispiel wird an dem betreffenden Filter weitergegeben. In der Figur werden vier Filter parallel mit den gleichen Daten (Beispiele 1, 2, 3, ...) betrieben.
- d) Die Beispiele 1, 2, 3, ... (die Transponderentfernungen) werden zusammen mit der Roboterposition abgespeichert. Diese werden später bei einer wiederholten Filterung der besten Hypothese benutzt.
- e) Die Filterung wird fortgesetzt, bis ein Filter einerseits aufgebaut worden ist (eine gegebene Genauigkeit erreicht hat) und andererseits konvergiert, d. h., daß der Rest der Differenz zwischen der erwarteten und gemessenen Transponderentfernung unter einen vorgegebenen Wert fällt.
- f) Das Ergebnis der besten Hypothese wird im Sinne der Wahrscheinlichkeit überprüft. Danach wird ein Zurückfiltern der Ausgangsdaten der besten Hypothese durchgeführt, und zwar mit den Eingangswerten des Transponders, so daß sich eine höhere Genauigkeit ergibt. Schließlich wird die Position des Transponders in den Navigationsbereich übertragen (z. B. in Form eines Kartenbildes) und wird für die Positionierung des Roboters benutzt.

Wenn bei einer ersten Abschätzung der Richtung eine Anzahl der Hypothesen verworfen werden, so führt dies zu einer wesentlichen Verbesserung dahingehend, daß eine kleinere Rechenkapazität erforderlich wird durch den zentralen Mikroprozessor, um die Transponder zu positionieren. Wenn der Roboter einen vollen Umlauf um den Raum zurückgelegt hat, werden alle Transponderpositionen in dem betreffenden Ausführungsbeispiel mit guter Genauigkeit in ein "Kartenbild" eingetragen, welches durch die Wände des Raumes begrenzt ist. Weiterhin sind mögliche andere Hindernisse eingetragen, welches das Ultraschallsystem für den Nahbereich während des Umrundens festgestellt hat. Danach startet der Roboter seine Reinigungsfunktion dadurch, daß er in seinem Kartenbild einem gerechneten Muster folgt, um die gesamte Oberfläche des Raumes abzudecken.

Der Verlauf der Ereignisse ist periodisch und wird jede 100 ms wiederholt. Die wesentlichen Punkte, die in jeder Periode durchlaufen werden, sind beispielsweise folgende:

- a) Der Roboter sendet einen Ultraschallimpuls in einem zeitlichen Abstand von 100 ms. Der Impuls erreicht die Transponder, die in der bevorzugten Ausführungsform mit ihrer Identität über Infrarotlicht nach einer Verzögerung (in der Größenordnung von 40 ms) antworten. Diese Antwort der Transponder wird dann nach einer individuellen Verzögerungszeit wiederholt, die in dem Antwortcode festgelegt ist. Dies verringert die Möglichkeiten der Transponder, "sich gegenseitig durch gleichzeitige Signale zu stören". Die Zeit, die von der Aussendung des Schallimpulses bis zu der Aufnahme des Lichtimpulses läuft (mit Ausgleich einer eventuellen Verzögerung) ergibt ein Maß für die Entfernung des Roboters von dem Transponder.
- b) Ein digitaler Signalprozessor, beispielsweise von dem Typ TMS320C50 von Texas Instruments, mißt das beschriebene Zeitintervall für alle Transponder. Dann wird eine mit Zeit behaftete Entfernung für jeden Transponder erreicht, mit der Ausnahme solcher, die momentan verborgen sind. Bei dem Beispiel der Fig. 6 werden die Entfernungen der Transponder 31, 33 und 34 erhalten, wobei die beiden letztgenannten entsprechend den vorangegangenen Ausführungen positioniert sind. Der Transponder 31 ist immer im Ausgangspunkt des Orientierungssystems angeordnet.
- c) Die Messung wird von dem Signalprozessor an den Mikroprozessor weitergegeben, der in dem Ausführungsbeispiel MC68332 der Firma Motorola sein kann.
- d) Der Kalman-Filter macht nun eine Voraussage, in anderen Worten das Erkennen der eigenen Position durch den Filter wird vorwärts von dem vorherigen Punkt der Messung zu dem gegenwärtigen gebracht. Dies wird dadurch erreicht, daß eine neue Position der Wegerzeugung erzielt wird, der seinerseits die Information in einen Zähler über die Räder 12 und 13 gibt, wie dies im Stand der Technik bekannt ist. Mit Ausnahme der Durchführung einer ersten Rechnung der Position des Roboters erfordert diese Technik weiterhin, daß eine sog. Kovarianzmatrix aufgestellt wird (siehe auch A. Gelb "Applied Optimal Estimation", MIT Press, 1975 und H. Sorenson "Kalman Filtering: Theory and Application", IEEE Press, 1985). In den Kalman-Gleichungen sind die Radgeschwindigkeiten als Eingangsdaten vorgesehen; da die Wegerzeugung diese jedoch schon zu einer Lage integriert hat, stellt dies einen direkten Eingang zu dem Filter dar. Die Konzepte sind gleich, aber die bevorzugte Methode ergibt eine höhere Genauigkeit, da die Wegerzeugung das Fahrzeug jede 20 ms führt und damit fünfmal so oft wie der Sender.

e) Für jede Messung (für  $d_0$ ,  $d_2$  und  $d_3$ ) wird eine Gewichtung nacheinander durchgeführt. Dann kombiniert der Filter die vorausgesagte Roboterposition mit dem betreffenden Transponderabstand, so daß eine neue und bessere Schätzung der eigenen Position erreicht wird. In jedem Moment wird die Covarianzmatrix auf den neuen Stand gebracht.

f) Wenn alle Transponderentfernungen gewichtet worden sind, schreibt eine Positionsleitstelle die neuen Erkenntnisse der eigenen Position zusammen mit der Meßzeit auf ein Datenblatt und markiert mit einem Hinweis, daß neue Informationen vorliegen. Die Wegfestlegung liest diese Daten und streicht den Hinweis.

Alle Rechnungen werden in dem Ausführungsbeispiel durch integrale arithmetische Operationen durchgeführt, wobei eine Skalierung entsprechend der nachfolgenden Tabelle angewendet wird. Unter "Skalierung" wird der Wert des letzten signifikanten Bits verstanden, während "Länge des Wortes" die Anzahl der Bits bedeutet, um die Menge zu repräsentieren.

<u>Quantität</u>	<u>Skalierung</u>	<u>Länge des Wortes</u>
Abstand	1 mm	16
Winkel	90°/1024	16
Position	1 mm	16
Zeit	1 ms	32

In einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung wird der gleiche Ultraschallimpuls zum Abtasten eines Nahbereiches (in der Größenordnung von 0 bis 40 cm) vor dem Roboter benutzt, in dem fünf Empfänger für die reflektierte Ultraschallwelle vorgesehen sind, die generell im vorderen Bereich 5 vor dem Ultraschallsender 20 auf dem Staubsauger 10 angeordnet sind. Jeder dieser Empfänger arbeitet mit zeitlichem Abstand nach dem Aussenden des Ultraschallimpulses, der auf einen unmittelbaren Nachbarschaftsbereich abgestimmt ist und dazu dient, um zusätzliche Hindernisse zu erkennen, die während der ersten Umrundung des Raumes nicht erkannt worden sind. Zusätzlich wird mindestens einer dieser Empfänger dazu genutzt, den Abstand zur Wand zu steuern, und zwar auf der linken Seite in dem ersten Umlauf rechtsherum.

Zusätzlich wird in bevorzugter Ausführungsform des Verfahrens und des Systems nach der vorliegenden Erfindung eine erste Antwort von dem Responder mit der zweiten Frequenz in der Zeit verzögert, d. h. in diesem Falle ist es das Infrarotsignal zurück zu dem Roboter, und zwar durch eine erste fixe Verzögerung (in der Größenordnung von 40 ms), um dem Mikroprozessor zusätzliche Zeit für die Erzeugung von Echos aus dem Nachbarschaftsbereich zu geben, die durch die Empfangseinrichtungen des Roboters registriert werden. In der Folge wird eine zweite Antwort zusätzlich übermittelt, die eine zweite Verzögerung besitzt (in der Größenordnung von 5 bis 20 ms), die individuell für jeden Transponder festgelegt ist, um das System mit einer weiteren Möglichkeit der Unterscheidung zwischen zwei Transpondern zu versehen, bei denen ihre erste Antwort gleichzeitig übermittelt worden ist. Das Infrarotsignal enthält in bekannter Weise einen Pulscode für die Identifizierung jedes Transponders, und in der bevorzugten Ausführungsform werden acht Bits benutzt, von denen vier Bits für die Identifikation benutzt werden, wobei durch normales binäres Zählen 16 verschiedene Identifikationsadressen entstehen. Da ein Transponder frühestens nach etwa 40 ms antworten wird, nachdem der Impuls von dem Fahrzeug ausgesendet wurde, kann ein Transponder theoretisch mehr als 100 m von dem Fahrzeug entfernt sein, entsprechend der Laufgeschwindigkeit einer longitudinalen Schallwelle.

In einer weiteren Ausführungsform eines Orientierungssystems mit einem oder mehreren Transpondern wird statt dessen ein Triggersignal an den Transponder in einer zweiten Frequenz geschickt, die vorzugsweise eine schnelle Fortpflanzung aufweist, d. h. über Infrarotlicht einer elektromagnetischen Welle, wobei der Transponder in einer ersten Frequenz mit einem Wellentyp einer langsamen Fortpflanzung antwortet, vorzugsweise einer Ultraschallwelle. In diesem Falle wird die Abstandsmessung von dem Transponder zu der selbst fahrenden Vorrichtung durchgeführt anstelle der ersten Ausführungsform, bei der dies in Richtung von der selbstfahrenden Vorrichtung auf den Transponder geschah. Dies bedeutet, daß in dem letzten Ausführungsbeispiel auf der beweglichen Vorrichtung der Teil der Logik angeordnet ist, welcher die Abstandserkennung und Bestimmung enthält, wenn eine erhaltene Abstandsmessung sich innerhalb des erwarteten Meßfensters befindet. In dieser zweiten Ausführungsform führt dies dazu, daß die mobile Vorrichtung, wenn dies wünschenswert erscheint, auch in einer Folge die Transponder nacheinander triggert, um eine Antwort in einer Frequenz mit langsamer Fortpflanzung zu bekommen, um die Entfernung zu jedem interessierenden Transponder durch Benutzung seiner eigenen Adresse zu bekommen. Bei einer weiteren Ausführungsform dieser zweiten Möglichkeit ist es zusätzlich möglich, wie vorher, eine weitere Sicherheitsschwelle in dem System zu erhalten, damit der Transponder das Signal identifiziert, welches durch den Transponder übermittelt wird. In diesen letzten Ausführungsformen ist die bewegliche Vorrichtung anstelle des Empfängers für z. B. Infrarotlicht oder jede andere elektromagnetische Welle, mit einem zusätzlichen Transmitter für ein Signal dieses Types ausgerüstet, wobei gleichzeitig die Empfänger mit ihrer zugehörigen Elektronik für Ultraschallradar ausgebildet sind, welches für die Naherkennung genutzt wird, auch wenn dies für die Registrierung der Antworten der Transponder genutzt wird. Jede weitere Beschreibung dieser zweiten Ausführungsform sollte für einen Fachmann unnötig sein, die aus der vorhergehenden detaillierten Beschreibung der ersten Ausführungsform in voller Analogie dazu erkennbar ist und damit vollständig den Funktionsablauf der zweiten Ausführungsform des Transpondersystems und der Transpondervorrichtung beschreibt.

Es ist für Fachleute auf dem vorliegenden Gebiet klar ersichtlich, daß die vorliegende Erfindung auch in anderer spezifischer Form angewendet werden kann, ohne den Geist und den wesentlichen Charakter der vorliegenden Erfindung zu



verlassen. Die hier beschriebenen Ausführungsformen werden deshalb in aller Hinsicht als beschreibend und nicht als beschränkend empfunden. Der Schutzzumfang der Erfindung geht aus den Ansprüchen besser als aus der vorangehenden Beschreibung hervor, und alle Änderungen auf dem Gebiete der Äquivalente sollen von der Erfindung mit umfaßt sein.

# Patentansprüche

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

1. Verfahren zum schnellen Messen der Richtung von einer autonomen Vorrichtung (10) zu einem Transponder, bei dem von einem auf der Vorrichtung (10) exzentrisch zu einer Rotationsachse (25) angeordneten Sender (20) ein Abtastsignal ausgesandt wird, durch welches auf dem Transponder ein Antwortsignal ausgelöst wird, das von einem auf der Vorrichtung (10) angeordneten Empfänger empfangen wird, wobei die Laufzeit des Abtastsignals ermittelt wird. Die Vorrichtung (10) wird um die Rotationsachse (25) gedreht, wobei der Drehwinkel relativ zur Ausgangsstellung der Vorrichtung (10) erfaßt wird. Die Ermittlung der Laufzeit und des Drehwinkels wird mehrfach wiederholt und das Entfernungsminimum mit dem zugehörigen Drehwinkel festgestellt, der die Richtung zum Transponder angibt.

2. Selbstfahrende autonome Vorrichtung mit einem motorischen Antrieb zum Drehen der Vorrichtung um eine Rotationsachse (25), die einen Empfänger und einen exzentrisch zu der Rotationsachse (25) angeordneten Sender (20) sowie ein mikroprozessorgestütztes Orientierungssystem für die Bestimmung der Entfernungen und der Richtungen zu einer Anzahl von Transpondern (31-34) aufweist.

3. Verfahren zum Orientieren einer autonomen Vorrichtung mit Hilfe einer Anzahl von Transpondern (31-34), wobei die Vorrichtung (10) beim Verlassen einer Anschlußstation mit einem ersten Transponder (31) mindestens um eine Umdrehung um ihre Rotationsachse (25) gedreht wird und dabei die Entfernungen und die Richtungen zu allen erreichbaren Transpondern (31-34) nach dem Verfahren des Anspruches 1 gemessen werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehung der Vorrichtung um ihre Rotationsachse mindestens einmal wiederholt wird, wenn sich die Vorrichtung um eine festgelegten Distanz von ihrem Ausgangspunkt entfernt hat.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß beim Messen der Richtung und der Entfernung zu einem Transponder Signale mit zwei verschiedenen Frequenzen benutzt werden, von denen die eine eine relativ langsame und die andere eine relativ hohe Ausbreitungsgeschwindigkeit aufweist, wobei eine erste Frequenz durch eine akustische Welle und eine zweite Frequenz durch eine elektromagnetische Welle gebildet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Frequenz von einer Ultraschallwelle und die zweite Frequenz von einem Infrarot-Lichtsignal oder einem Radio-Signal gebildet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Frequenz mit der langsamen Ausbreitungsgeschwindigkeit von dem Sender der Vorrichtung in alle Richtungen ausgesendet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Antwort des Transponders mit der schnellen Ausbreitungsgeschwindigkeit um einen vorher festgelegten Zeitabschnitt verzögert wird, um der autonomen Vorrichtung Zeit zu geben, die Reflektion auf das Signal mit der ersten Frequenz zum Erkennen der kürzesten Entfernung zu der Vorrichtung zu verarbeiten.

9. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Transponder von dem Mikroprozessor anhand des Inhalts der Antwort identifiziert wird, wobei die Identität des Transponders festgelegt ist.

10. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß von jedem Transponder nach der Aussendung einer ersten Antwort, die einen Empfang eines Signals auf die erste Frequenz anzeigt, ein zusätzliches Signal nach Ablauf eines festgelegten Zeitintervalls, welches verschieden und einzigartig für jeden Transponder ist, ausgesandt wird, um damit die Transponder zu unterscheiden, wobei die erste Antwort gleichzeitig von dem Empfänger der autonomen Vorrichtung empfangen wird.

11. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß einer der zusätzlichen Transponder an derselben Wand angeordnet ist, an der sich auch die Anschlußstation des ersten, bekannten Transponders befindet.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

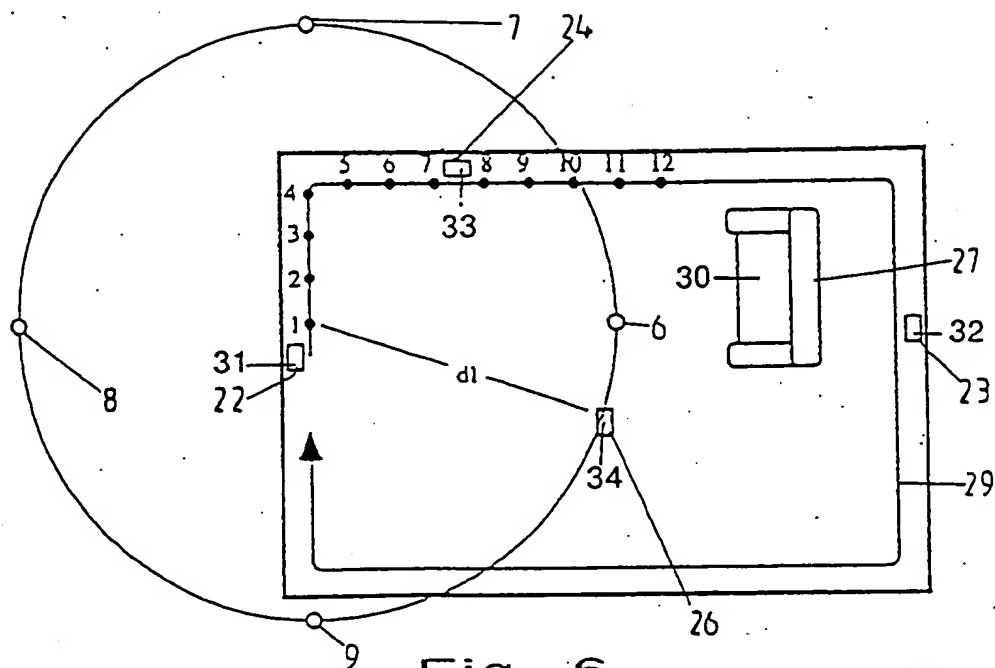


Fig. 6

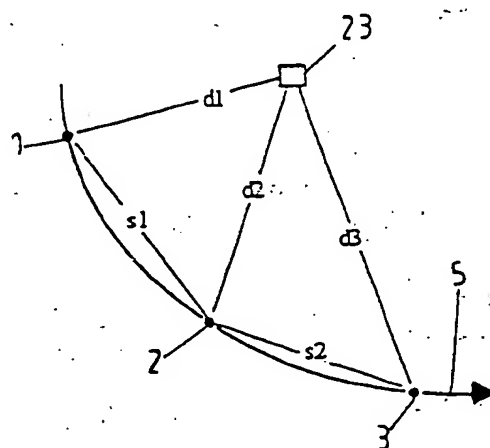
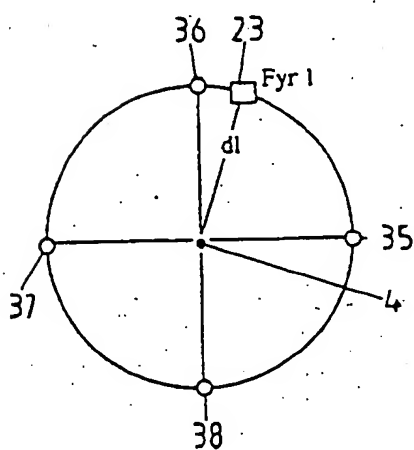


Fig. 7

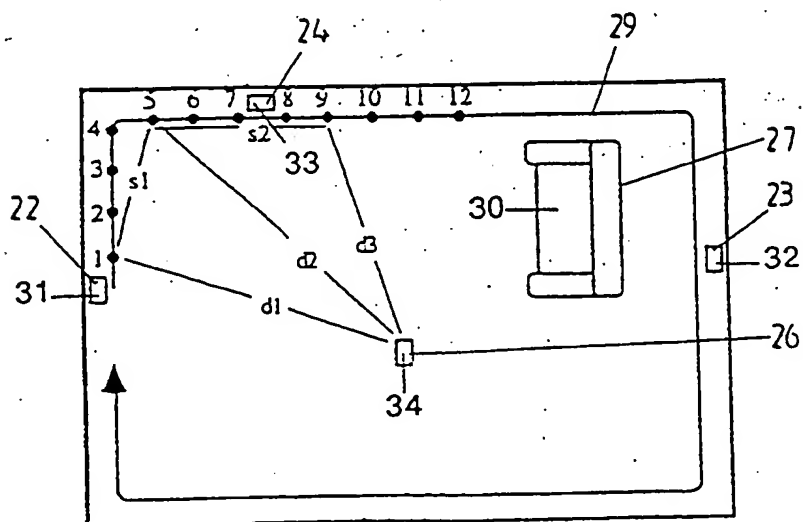


Fig. 8

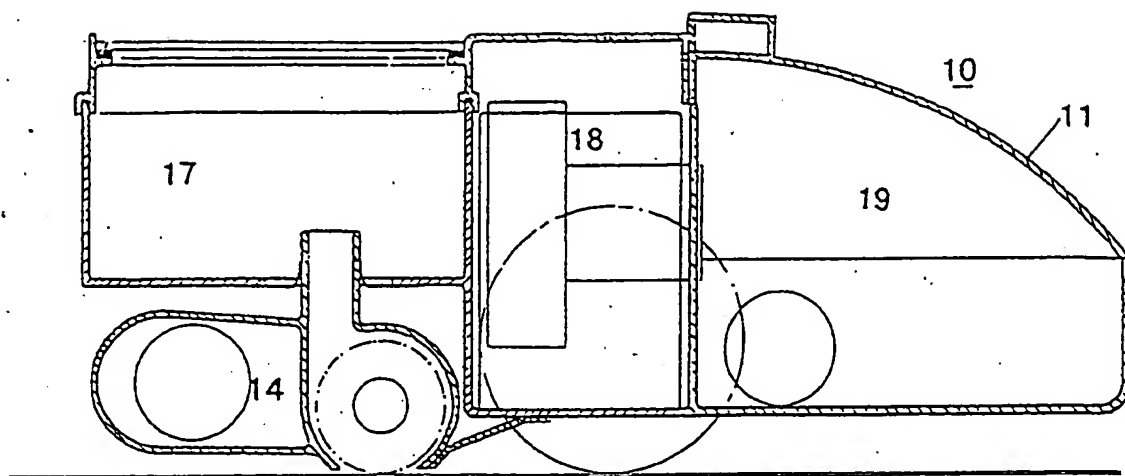


Fig. 3

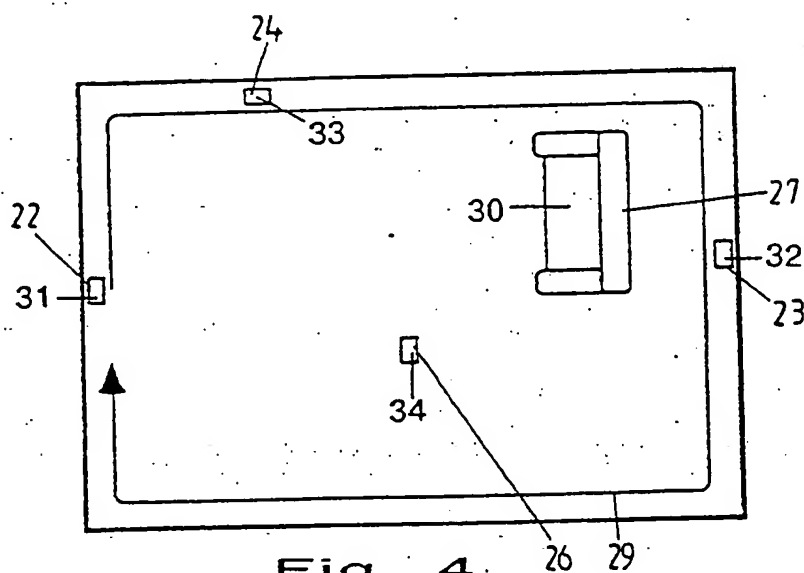


Fig. 4

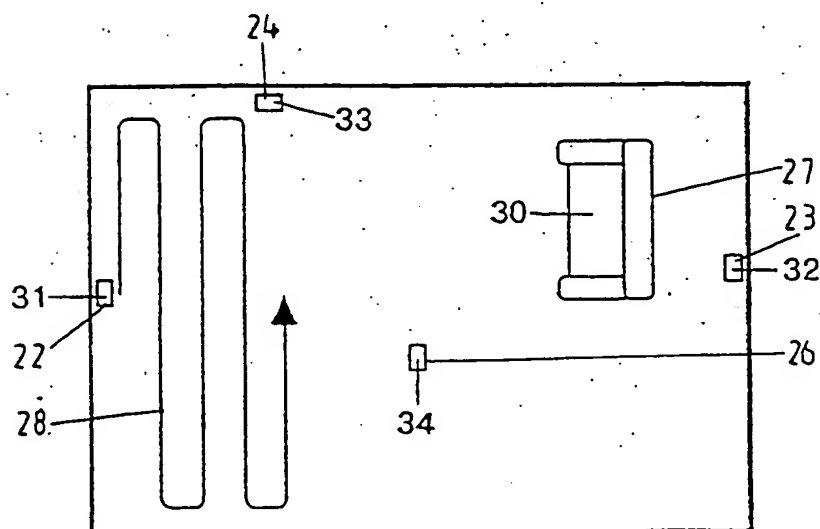


Fig. 5

- Leerseite -

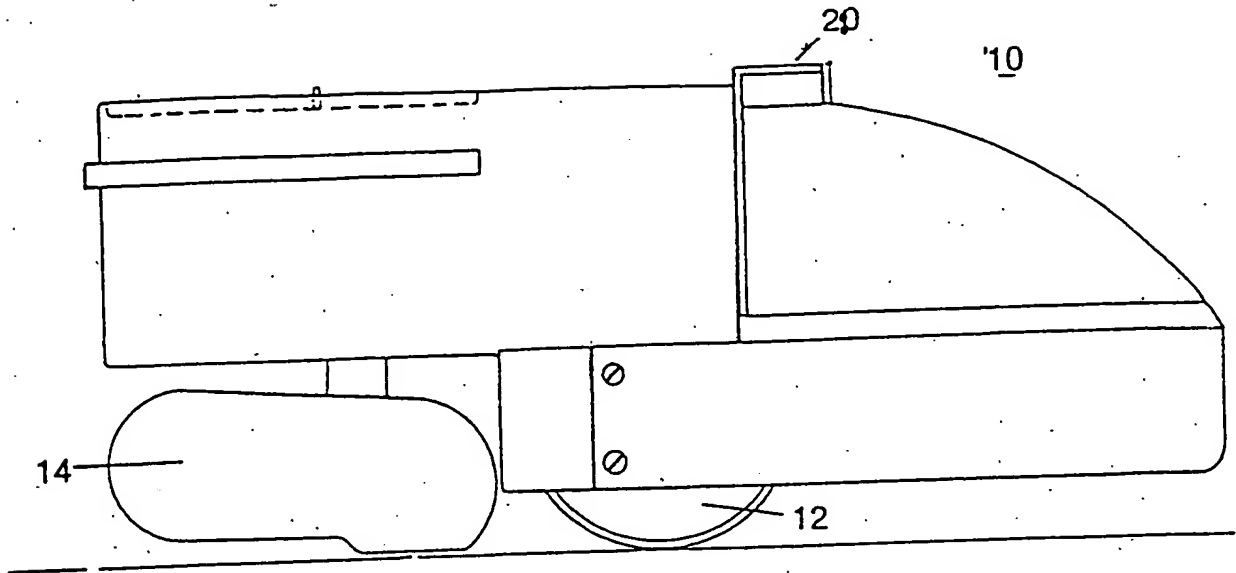


Fig. 1

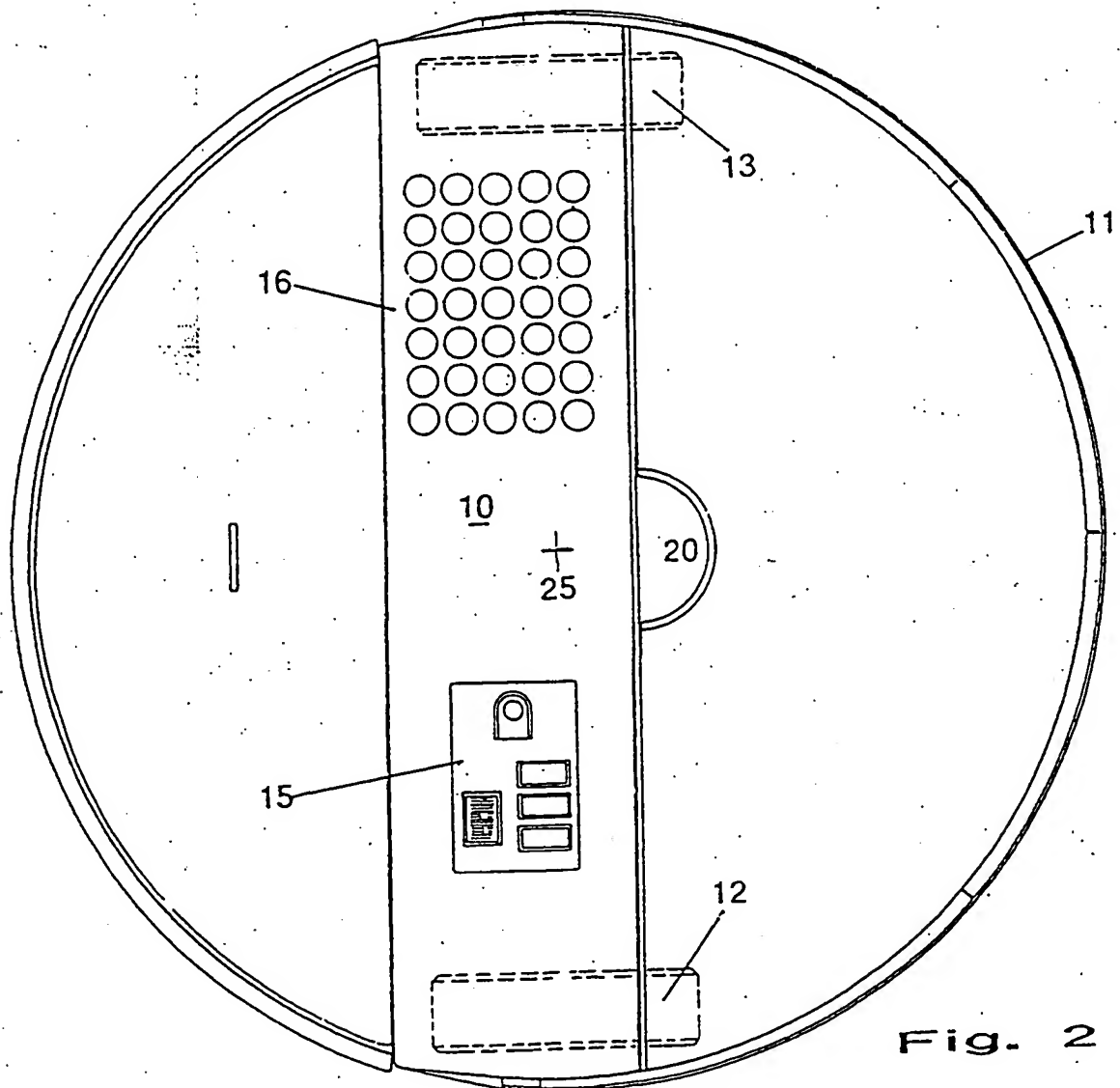


Fig. 2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**